

KPO-116-A

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Niino et al.
Serial Number: Unknown
Filed: Concurrently herewith
Group Art Unit: Unknown
Examiner: Unknown
Confirmation Number: Unknown
Title: FATIGUE SAFETY FACTOR TESTING METHOD AND
FATIGUE SAFETY FACTOR TESTING APPARATUS

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENT

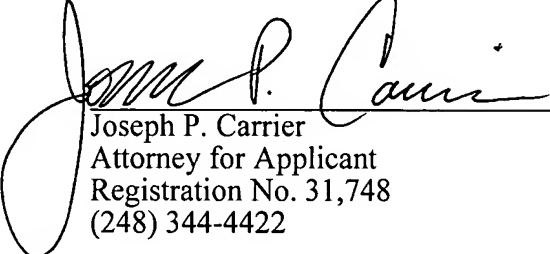
Mail Stop Patent Application
Commissioner For Patents
PO Box 1450
Alexandria VA 22313-1450

Sir:

In connection with the identified application, applicant encloses for filing a certified copy of:
Japanese Patent Application No. 2002-309268, filed 24 October 2002, to support applicant's claim for
Convention priority under 35 USC §119.

Respectfully submitted,

Customer Number 21828
Carrier, Blackman & Associates, P.C.
24101 Novi Road, Suite 100
Novi, Michigan 48375
14 October 2003


Joseph P. Carrier
Attorney for Applicant
Registration No. 31,748
(248) 344-4422

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the U.S. Postal Service as Express
Mail Certificate ET986050227US in an envelope addressed to Mail Stop Patent Application,
Commissioner For Patents, PO Box 1450, Alexandria VA 22313-1450 on 14 October 2003.

Dated: 14 October 2003
JPC/km
enclosures


Kathryn MacKenzie

US 864

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年10月24日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-309268

[ST.10/C]:

[JP 2002-309268]

出 願 人

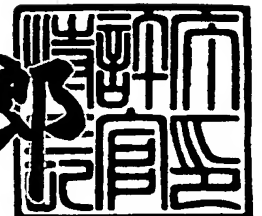
Applicant(s):

本田技研工業株式会社

2003年 4月25日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3031112

【書類名】 特許願

【整理番号】 H102149701

【提出日】 平成14年10月24日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G06F 17/00

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央一丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 新納 忠

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県和光市中央一丁目4番1号 株式会社本田技術研究所内

【氏名】 村上 浩隆

【特許出願人】

【識別番号】 000005326

【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100102864

【弁理士】

【氏名又は名称】 工藤 実

【選任した代理人】

【識別番号】 100099553

【弁理士】

【氏名又は名称】 大村 雅生

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053213

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9808922

【ブループの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

部品に生じる応力を、前記部品に使用された材料の疲労限度で正規化し、正規化応力として出力する正規化応力計算部と、

前記疲労限度を正規化した正規化疲労限度と前記正規化応力とに基づいて、前記部品の疲労安全率を算出する疲労安全率計算部と、

を具備する、

疲労安全率検査装置。

【請求項 2】

前記疲労限度を正規化して前記正規化疲労限度に変換する変換関数を格納する関数テーブルを更に具備し、

前記正規化応力計算部は、前記応力を前記変換関数で変換して、前記正規化応力を算出する、

請求項 1 に記載の疲労安全率検査装置。

【請求項 3】

前記疲労限度を有する応力データテーブルと、

前記疲労限度に基づいて、前記変換関数を生成する変換関数生成部と、

を更に具備し、

前記変換関数生成部は、生成した前記変換関数を前記関数テーブルへ格納する

請求項 2 に記載の疲労安全率検査装置。

【請求項 4】

部品に生じる応力を、前記部品の温度毎に、前記部品に使用された材料に関する前記温度毎の疲労限度で正規化し、正規化応力として出力する正規化応力計算部と、

前記温度毎の前記疲労限度を正規化した正規化疲労限度と前記正規化応力とに基づいて、前記部品の疲労安全率を算出する疲労安全率計算部と、

を具備する、

疲労安全率検査装置。

【請求項5】

前記温度毎の前記疲労限度を正規化して温度に依らない正規化疲労限度に変換する変換関数を格納する関数テーブルを更に具備し、

前記正規化応力計算部は、前記応力を前記変換関数で変換して、前記正規化応力を算出する、

請求項4に記載の疲労安全率検査装置。

【請求項6】

前記温度毎の前記疲労限度を有する応力データテーブルと、

前記温度毎の前記疲労限度に基づいて、前記変換関数を生成する変換関数生成部と、

を更に具備し、

前記変換関数生成部は、生成した前記変換関数を前記関数テーブルへ格納する

請求項5に記載の疲労安全率検査装置。

【請求項7】

前記応力は、前記部品に生じる平均応力及び振幅応力であり、

前記疲労限度は、許容平均応力と許容振幅応力とで表される、

請求項1乃至6のいずれか一項に記載の疲労安全率検査装置。

【請求項8】

(a) 部品に生じる応力を取得するステップと、

(b) 前記部品に用いる材料の疲労限度を正規化して、正規化疲労限度を算出するステップと、

(c) 前記応力を前記疲労限度で正規化した正規化応力を算出するステップと

(d) 前記正規化疲労限度と前記正規化応力とに基づいて、前記部品の疲労安全率を算出するステップと、

を具備する、

疲労安全率検査方法。

【請求項 9】

前記 (b) ステップは、

(e) 前記疲労限度を正規化して前記正規化疲労限度に変換する変換関数を算出するステップを備え、

前記 (c) ステップは、

(f) 前記応力を前記変換関数で変換して前記正規化応力を得るステップを備える、

請求項 8 に記載の疲労安全率検査方法。

【請求項 10】

(g) 部品に生じる応力と前記部品の温度を取得するステップと、

(h) 前記部品に用いる材料の温度毎の疲労限度を正規化して、温度に依らない正規化疲労限度を算出するステップと、

(i) 前記応力を前記温度毎の前記疲労限度で正規化した正規化応力を算出するステップと、

(j) 前記正規化疲労限度と前記正規化応力とに基づいて、前記部品の疲労安全率を算出するステップと、

を具備する、

疲労安全率検査方法。

【請求項 11】

前記 (h) ステップは、

(k) 前記温度毎の前記疲労限度を正規化して温度に依らない正規化疲労限度に変換する変換関数を算出するステップを備え、

前記 (c) ステップは、

(l) 前記応力を前記変換関数で変換して前記正規化応力を得るステップを備える、

請求項 10 に記載の疲労安全率検査方法。

【請求項 12】

(m) 部品に生じる応力と前記部品の温度を取得するステップと、

(n) 前記部品に用いる材料の温度毎の疲労限度を正規化して、温度に依らない正規化疲労限度を算出するステップと、

(o) 前記応力を前記温度毎の前記疲労限度で正規化した正規化応力を算出するステップと、

(p) 前記正規化疲労限度と前記正規化応力とに基づいて、前記部品の疲労安全率を算出するステップと、

(q) 前記正規化疲労限度、前記正規化応力及び前記疲労安全率の少なくとも一つを、表示装置に表示するステップと、

を具備する方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項 1 3】

前記 (n) ステップは、

(r) 前記温度毎の前記疲労限度を正規化して温度に依らない正規化疲労限度に変換する変換関数を算出するステップを備え、

前記 (o) ステップは、

(s) 前記応力を前記変換関数で変換して前記正規化応力を得るステップを備える、

請求項 1 2 に記載の方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法に関し、特に、温度に対する疲労安全率を検査する疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

Computer Aided Engineering (以下、「CAE」とする) を用いて、部品の疲労安全率を計算する方法が知られている。例えば、一種類の材料に対して、一定の条件 (例示: 一定の温度) の下、疲労限度線図のデータを計算するコンピュータプログラムが市販されている。ここで、疲労限度

線図は、対象物（部位）において許容される平均応力と、許容される振幅応力との関係を示すグラフである。

【0003】

上記のような疲労限度線図のデータとして一定条件下で算出したものしか用いることが出来ない場合、実物では場所毎に条件が異なる（例示：温度が異なる）ような部品の疲労限度を精度良く予測することが困難となる。このような部品は、ピストンのような車両のエンジンの構成物に例示される。ピストンの場合、エンジンシリンダ内の爆発に応じて応じて高速で上下運動するため、温度も部位毎に大きく異なる。

【0004】

また、疲労限度を精度良く予測できないと、疲労安全率を正確に予測できなくなる。そのため、安全を優先して、安全率を非常に高く設定することになる。その結果、エンジンの重量増加、材料コストの増加等に繋がり、環境負荷低減の面からもマイナスである。部位毎の温度及び応力に基づいて、自動処理により各部位の疲労安全率を高速かつ正確に算出することが可能な技術が求められている。

【0005】

関連する技術として、特開平 8-339396 号公報に、金属板の変形過程の数値シミュレート結果の処理装置の技術が開示されている。この技術の金属板の変形過程の数値シミュレート結果の処理装置は、入力手段、破断限界ひずみ／しわ限界応力データ記憶部、破断／しわ余裕度算出手段、破断／しわ余裕度データ記憶部、及び、出力手段を有する。

ここで、入力手段は、金属板が塑性変形する過程を有限要素法で数値シミュレートして得られた各要素のひずみ／応力データを、ひずみ／応力データ記憶部に入力する。破断限界ひずみ／しわ限界応力データ記憶部は、破断限界ひずみ／しわ限界応力データを格納している。破断／しわ余裕度算出手段は、破断限界ひずみ／しわ限界応力データと各要素のひずみ／応力データから各要素の破断／しわ余裕度を算出する。破断／しわ余裕度データ記憶部は、算出した各要素の破断／しわ余裕度を記憶する。及び、出力手段は、破断／しわ余裕の等高線分布を出力する。

【0006】

【特許文献1】特開平8-339396号公報

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

従って、本発明の目的は、計算や実測で求められた部品の部位毎の温度及び応力に基づいて、自動処理により各部位の疲労安全率を高速かつ正確に算出することが可能な疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法を提供することである。

【0008】

また、本発明の他の目的は、材料や温度に依らない疲労限度線図を算出し、容易に疲労安全率を算出することが可能な疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法を提供することである。

【0009】

本発明の更に他の目的は、設計及び開発の効率を向上し、それらにかかるコストを低減することが可能な疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

以下に、【発明の実施の形態】で使用される番号・符号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号・符号は、【特許請求の範囲】の記載と【発明の実施の形態】との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号・符号を、【特許請求の範囲】に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

【0011】

従って、上記課題を解決するために、本発明の疲労安全率検査装置は、正規化応力計算部（14）と、疲労安全率計算部（15）とを具備する。

正規化応力計算部（14）は、部品に生じる応力（ σ ）を、その部品に使用された材料の疲労限度（ Q ）で正規化し、正規化応力（ σU ）として出力する。疲労安全率計算部（15）は、疲労限度（ Q ）を正規化した正規化疲労限度（ Q_0 ）と正規化応力（ σU ）とに基づいて、その部品の疲労安全率（ Saf ）を算出

する。

正規化された正規化応力 (σU) を用いているので、疲労安全率 ($S a f$) の算出が正確かつ容易となる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明の疲労安全率検査装置は、疲労限度 (Q) を正規化して正規化疲労限度 (Q_0) に変換する変換関数 (f) を格納する関数テーブル (18) を更に具備する。

そして、正規化応力計算部 (14) は、応力 (σ) を変換関数 (f) で変換して、正規化応力 (σU) を算出する。

正規化応力 (σU) を変換関数 (f) で算出しているので、事前に各応力 (σ) に対応する正規化応力 (σU) のデータ準備し、格納しておく必要が無い。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の疲労安全率検査装置は、応力データテーブル (3) と、変換関数生成部 (10) とを更に具備する。

ここで、応力データテーブル (3) は、疲労限度 (Q) を有する。変換関数生成部 (10) は、疲労限度 (Q) に基づいて、変換関数 (f) を生成する。

そして変換関数生成部 (10) は、生成した変換関数 (f) を関数テーブル (18) へ格納する。

変換関数 (f) を従来知られた疲労限度 (Q) で導出している所以、事前に変換関数 (f) を準備し、格納しておく必要が無い。

【 0 0 1 4 】

また、本発明の疲労安全率検査装置は、正規化応力計算部 (14) と、疲労安全率計算部 (15) とを具備する。

正規化応力計算部 (14) は、部品に生じる応力 (σ) を、その部品の温度 (T) 毎に、その部品に使用された材料に関する温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) で正規化し、正規化応力 (σU) として出力する。疲労安全率計算部 (15) は、温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化した正規化疲労限度 (Q_0) と正規化応力 (σU) とに基づいて、その部品の疲労安全率 ($S a f$) を算出する。

正規化された正規化応力 (σU) を用いているので、疲労安全率 ($S a f$) の

算出が正確かつ容易となる。

【0015】

更に、本発明の疲労安全率検査装置は、温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化して温度に依らない正規化疲労限度 (Q_0) に変換する変換関数 (f) を格納する関数テーブル (18) を更に具備する。

そして、正規化応力計算部 (14) は、応力 (σ) を変換関数 (f) で変換して、正規化応力 (σ_U) を算出する。

正規化応力 (σ_U) を変換関数 (f) で算出しているので、事前に各応力 (σ) に対応する正規化応力 (σ_U) のデータ準備し、格納しておく必要が無い。

【0016】

更に、本発明の疲労安全率検査装置は、応力データテーブル (17) と、変換関数生成部 (10) とを更に具備する。

応力データテーブル (17) は、温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を有する。変換関数生成部 (10) は、温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) に基づいて、変換関数 (f) を生成する。

そして、変換関数生成部 (10) は、生成した変換関数 (f) を関数テーブル (18) へ格納する。

変換関数 (f) を従来知られた疲労限度 (Q) で導出しているもので、事前に変換関数 (f) を準備し、格納しておく必要が無い。

【0017】

更に、本発明の疲労安全率検査装置は、応力 (σ) が、その部品に生じる平均応力 (σ_1) 及び振幅応力 (σ_2) である。また、疲労限度 (Q) は、許容平均応力 (σ_1) と許容振幅応力 (σ_2) とで表される。

許容平均応力 (σ_1) と許容振幅応力 (σ_2) とに基づいて、疲労安全率 (Saf) を求めるので、疲労安全率が正確である。

【0018】

上記課題を解決するために、本発明の疲労安全率検査方法は、(a) ~ (d) ステップを具備する。

(a) ステップは、部品に生じる応力 (σ) を取得する。(b) ステップは、

その部品に用いる材料の疲労限度 (Q) を正規化して、正規化疲労限度 (Q_0) を算出する。(c) ステップは、応力 (σ) を疲労限度 (Q) で正規化した正規化応力 (σU) を算出する。(d) ステップは、正規化疲労限度 (Q_0) と正規化応力 (σU) とに基づいて、その部品の疲労安全率 (Saf) を算出する。

正規化された正規化応力 (σU) を用いているので、疲労安全率 (Saf) の算出が正確かつ容易となる。

【0019】

また、本発明の疲労安全率検査方法は、(b) ステップが、(e) 疲労限度 (Q) を正規化して正規化疲労限度 (Q_0) に変換する変換関数 (f) を算出するステップを備える。また、(c) ステップは、(f) 応力 (σ) を変換関数 (f) で変換して正規化応力 (σU) を得るステップを備える。

変換関数 (f) を従来知られた疲労限度 (Q) で導出しているもので、事前に変換関数 (f) を準備し、格納しておく必要が無い。また、正規化応力 (σU) を変換関数 (f) で算出しているもので、事前に各応力 (σ) に対応する正規化応力 (σU) のデータ準備し、格納しておく必要が無い。

【0020】

また、本発明の疲労安全率検査方法は、(g) ~ (j) ステップを具備する。

(g) ステップは、部品に生じる応力 (σ) とその部品の温度を取得する。(h) ステップは、その部品に用いる材料の温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化して、温度に依らない正規化疲労限度 (Q_0) を算出する。(i) ステップは、応力 (σ) を温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) で正規化した正規化応力 (σU) を算出する。(j) ステップは、正規化疲労限度 (Q_0) と正規化応力 (σU) とに基づいて、その部品の疲労安全率 (Saf) を算出する。

正規化された正規化応力 (σU) を用いているので、疲労安全率 (Saf) の算出が正確かつ容易となる。

【0021】

また、本発明の疲労安全率検査方法は、(h) ステップが、(k) 温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化して温度に依らない正規化疲労限度 (Q_0) に変換する変換関数 (f) を算出するステップを備える。また、(c) ステップは、(

1) 応力 (σ) を変換関数 (f) で変換して正規化応力 (σU) を得るステップを備える。

変換関数 (f) を従来知られた疲労限度 (Q) で導出しているもので、事前に変換関数 (f) を準備し、格納しておく必要が無い。また、正規化応力 (σU) を変換関数 (f) で算出しているもので、事前に各応力 (σ) に対応する正規化応力 (σU) のデータ準備し、格納しておく必要が無い。

【0022】

上記課題を解決するために、本発明に関するプログラムは、(m) ~ (q) ステップを具備する方法をコンピュータに実行させる。

(m) ステップは、部品に生じる応力 (σ) とその部品の温度 (T) を取得する。(n) ステップは、その部品に用いる材料の温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化して、温度に依らない正規化疲労限度 (Q_0) を算出する。(o) ステップは、応力 (σ) を温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) で正規化した正規化応力 (σU) を算出する。(p) ステップは、正規化疲労限度 (Q_0) と正規化応力 (σU) とに基づいて、その部品の疲労安全率 (Saf) を算出する。(q) ステップは、正規化疲労限度 (Q_0)、正規化応力 (σU) 及び疲労安全率 (Saf) の少なくとも一つを、表示装置 (5) に表示する。

正規化された正規化応力 (σU) を用いているので、疲労安全率 (Saf) の算出が正確かつ容易となる。

【0023】

また、本発明に関するプログラムは、(n) ステップが、(r) 温度 (T) 毎の疲労限度 (Q) を正規化して温度に依らない正規化疲労限度 (Q_0) に変換する変換関数 (f) を算出するステップを備える。また、(o) ステップは、(s) 応力 (σ) を変換関数 (f) で変換して正規化応力 (σU) を得るステップを備える。

変換関数 (f) を従来知られた疲労限度 (Q) で導出しているもので、事前に変換関数 (f) を準備し、格納しておく必要が無い。また、正規化応力 (σU) を変換関数 (f) で算出しているもので、事前に各応力 (σ) に対応する正規化応力 (σU) のデータ準備し、格納しておく必要が無い。

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明である疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法の実施の形態に関して、添付図面を参照して説明する。

本実施例において、車両のエンジンの設計に使用される疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法を例に示して説明するが、他の構造物の設計・開発においても、適用可能である。

【0025】

まず、本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態の構成について説明する。

図1は、本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態における構成を示す図である。疲労安全率検査装置1は、ワークステーションやパーソナルコンピュータに例示される情報処理装置である。CPU2、ハードディスクに例示される記憶部3、RAMに例示されるメモリ4、ディスプレイに例示される表示部5、キーボードやマウスに例示される入力部6を備える。

【0026】

疲労安全率検査装置1には、プログラムとしての変換関数生成部10、モデル生成部11、条件設定部12、FEM計算部13、正規化応力計算部14、疲労安全率計算部15がCPU2にインストールされている。また、応力データテーブル17及び関数テーブル18が記憶部3に搭載されている。

【0027】

応力データテーブル17は、材料の種類と、疲労限度線図（平均応力と振幅応力との関係）とを関連付けて格納する。

関数テーブル18は、材料の種類と、変換関数（温度毎の材料の疲労限度線図を正規化して、材料及び温度に依らない正規化疲労限度線図に変換する）とを関連付けて格納する。

【0028】

変換関数生成部10は、応力データテーブル17の材料の種類と疲労限度線図とに基づいて、疲労限度線図を正規化した正規化疲労限度線図を生成するための

変換関数 A 及び変換関数 B を生成し、関数テーブル 18 へ格納する。

モデル生成部 11 は、構造解析の対象としてのエンジンの三次元（以下「3D」という）モデルの設計を支援する。モデル生成部 11 は、CAD (Computer Aided Design) ソフトウェアに例示される。CAD ソフトウェアは、従来用いられているものを利用できる。

条件設定部 12 は、構造解析の対象としてのエンジンに関する諸条件の設定を行う。諸条件は、FEM 計算に用いる。諸条件は、エンジンの運転条件（速度、加速度、トルクなど）、エンジンの諸元（回転数、馬力、シリンダ内圧力など）に例示される。

FEM 計算部 13 は、上記の 3D モデルを変換し、FEM モデルを生成する。そして、上記諸条件の下で、FEM モデルに基づいて、FEM 解析のための FEM 計算が実行される。FEM 計算部 13 は、FEM ソフトウェアに例示される。

正規化応力計算部 14 は、部品に生じる応力を、部品の温度毎に、部品に使用された材料に関する温度毎の疲労限度線図で正規化し、正規化応力として出力する。すなわち、疲労限度線図の応力は、正規化疲労限度線図での正規化応力に対応する。

疲労安全率計算部 15 は、正規化疲労限度線図と正規化応力計算部 14 で算出された正規化応力とに基づいて、部品の疲労安全率を算出する。

【0029】

ここで、本発明である疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法に用いる疲労限度線図及びそれを正規化した正規化疲労限度線図について説明する。

図 2 は、ある材料の疲労限度線図及びそれを正規化した正規化疲労限度線図の一例を示すグラフである。図 2 の左側のグラフが疲労限度線図であり、右側のグラフが正規化疲労限度線図である。

【0030】

疲労限度線図は、横軸が平均応力 σ_1 、縦軸が振幅応力 σ_2 である。曲線 Q1（点 a1－点 b1－点 e1－点 c1－点 d1）、曲線 Q2（点 a2－点 b2－点 e2－点 c2－点 d2）、曲線 Q3（点 a3－点 b3－点 e3－点 c3－点 d3）は、それぞれ室温、100℃、200℃のグラフを示す。

疲労限度線図は、温度ごとの疲労限度の値をグラフにしたもので、一般に、材料により決まっており、その形状は様々である。図2の左側のグラフは、その一例である。また、エンジンを使用する温度範囲において、その形状は、温度の上昇と共に相似的に縮小する（曲線Q1→曲線Q2→曲線Q3）。

【0031】

疲労限度線図は、形状が材料及び温度に依存するため、計算上取り扱いに手間と時間がかかる。そこで、本発明においては、図2の右側のグラフに示すような正規化した正規化疲労限度線図を導入する。

正規化疲労限度線図は、各温度ごとに、平均応力と振幅応力 σ_2 を、その温度での疲労限度により正規化したものである。横軸が平均応力 σ_1 を正規化した正規化平均応力 σ_{U1} 、縦軸が振幅応力 σ_2 を正規化した正規化振幅応力 σ_{U2} である。ここでは、疲労限度線図の曲線Q1～Q3が、全て同一の曲線Q0へ変換されている。すなわち、曲線Q1～Q3の点a1～点a3は点a0（-1、0）へ、点b1～点b3は点b0（-1、1）へ、点e1～点e3は点e0（0、1）へ、点c1～点c3は点c0（1、1）へ、点d1～点d3は点d0（1、0）へ変換される。そして、疲労限度線図の点P（ $T=24^{\circ}\text{C}$ の場合）は、正規化疲労限度線図の点P₀となる。また、疲労限度線図は、材料に依らず曲線Q₀となる。

これにより、 σ は、正規化されて無次元の量となる。そして、以降の疲労安全計算や、温度や材料の種類の異なる材料間での平均応力及び振幅応力を用いる計算において、その取り扱いが容易となる。

【0032】

疲労限度線図から正規化疲労限度線図への変換は、変換関数 f を用いる。例えば、点P（ σ_{1P} 、 σ_{2P} ）については、 $\sigma_{U1P} = f_A(\sigma_{1P}, T)$ 、 $\sigma_{U2P} = f_B(\sigma_{2P}, T)$ 、と変換する。そして、点P₀（ σ_{U1P} 、 σ_{U2P} ）となる。

変換関数 $f(\sigma, T)$ （ $f_A(\sigma_1, T)$ 、 $f_B(\sigma_2, T)$ ）は、疲労限度線図が定型でなく材料の種類毎に異なることから、材料の種類毎に設定される。

【0033】

変換関数 f は、例えば、以下のようにして生成される。

まず、疲労限度線図における曲線 Q 及び各点 P を極座標に変換する。すなわち、曲線 Q 上の点 S ($\sigma 1_0$ 、 $\sigma 2_0$) 及びグラフ上の点 P ($\sigma 1_P$ 、 $\sigma 2_P$) について、極座標 S (r_0 、 θ_0) 及び極座標 P (r_P 、 θ_P) (ただし、 $\sigma 1_0$ 、 $P=r_0$ 、 $P \cdot \cos \theta_0$ 、 $P \cdot \sigma 2_0$ 、 $P=r_0$ 、 $P \cdot \sin \theta_0$ 、 P) に変換する。

しかる後、疲労限度線図における曲線 Q (点 S) を正規化疲労限度線図における曲線 Q_0 (点 S_0) へ変換する。その際、 θ_0 は、そのままとし、曲線 Q 上の点 S が、曲線 Q_0 に乗るように、 r_0 にかける係数 k を決定する。その結果、点 S は、曲線 Q_0 上において点 S_0 ($k \cdot r_0$ 、 θ_0) となる。そして、点 P は、その k を用いて、正規化疲労限度線図において点 P_0 ($k \cdot r$ 、 θ) と変換される。

また、温度 T に関しては、温度が上がるほど疲労限度線図は相似的に小さくなることから、基準となる温度 T_0 に比較して、温度 T が高い場合には大きくなり、温度 T が低い場合には小さくなる係数 $q(T)$ をかける。 $q(T)$ は、各材料毎に疲労限度線図により求める。

すなわち、点 P ($\sigma 1_P$ 、 $\sigma 2_P$) については、点 P_0 ($q(T) \cdot k \cdot r$ 、 $q(T) \cdot \theta$) : 極座標表示 = 点 P_0 ($\sigma U 1_P$ 、 $\sigma U 2_P$) : $\sigma 1 - \sigma 2$ 座標表示となる。これより、

$$\begin{aligned}\sigma U 1_P &= f_A(\sigma 1_P, T) \\ &= q(T) \cdot k \cdot r \cdot \cos \theta, \\ &= q(T) \cdot k \cdot (\sigma 1^2 + \sigma 2^2)^{0.5} \cdot \sigma 1 \cdot (\sigma 1^2 + \sigma 2^2)^{-0.5}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma U 2_P &= f_B(\sigma 2_P, T) \\ &= q(T) \cdot k \cdot r \cdot \sin \theta \\ &= q(T) \cdot k \cdot (\sigma 1^2 + \sigma 2^2)^{0.5} \cdot \sigma 2 \cdot (\sigma 1^2 + \sigma 2^2)^{-0.5}\end{aligned}$$

と求まる。

$$\text{ただし、} r = (\sigma 1^2 + \sigma 2^2)^{0.5}$$

$$\cos \theta = \sigma_1 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{-0.5}$$

$$\sin \theta = \sigma_2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{-0.5}$$

である。

【 0 0 3 4 】

なお、本発明における変換関数 f は、上記例に制限されることは無く、疲労限度線図を図 2 の右側のグラフのように変換可能であれば良い。

【 0 0 3 5 】

次に、上記の正規化疲労限度線図を用いた疲労安全率の算出方法について説明する。

図 3 は、正規化疲労限度線図を用いた疲労安全率の算出方法を示す図である。ここで示される正規化疲労限度線図は、図 2 の右側のグラフである。この図において、点 P_0 における疲労安全率 ($Saf.$) は、グラフの原点 O から点 S_0 までの距離 A と、原点 O から点 P_0 までの距離 B との比となる。すなわち、 $Saf. = A/B$ である。ただし、点 S_0 は、直線 OP_0 と曲線 Q_0 との交点である。

【 0 0 3 6 】

次に、応力データテーブル 3 について更に説明する。

図 4 は、応力データテーブル 3 を示す図である。応力データテーブル 17 は、材料の種類と、疲労限度線図（平均応力と振幅応力との関係）とを関連付けて格納している。材料 17-1、温度 17-2、平均応力 17-3、振幅応力 17-4 の各項目を備える。材料 17-1 は、材料の種類を示す。同一の種類で状態の異なる場合も含む。温度 17-2 は、材料の温度を示す。平均応力 17-3 及び振幅応力 17-4 は、材料 17-1 及び温度 17-2 の場合の平均応力と振幅応力との関係を示す。この応力データテーブル 3 は、図 2 の左側のグラフを示す。ただし、1 つの材料につき、温度 17-2 のデータは、詳細に用意する必要は無く、20℃刻み、50℃刻み、100℃刻み等とする。これにより、保存するデータの数を抑制できる。

【 0 0 3 7 】

図 5 は、関数テーブル 18 を示す図である。関数テーブル 18 は、材料の種類と、変換関数とを関連付けて格納している。

材料 1 8 - 1 は、材料 1 7 - 1 と同様である。変換関数 A 1 8 - 2 及び変換関数 B 1 8 - 3 は、疲労限度線図上のデータを正規化疲労限度線図のデータへ変換する関数である。変換関数 A 1 8 - 2 は、平均応力 σ_1 用であり、変換関数 B 1 8 - 3 は、振幅応力 σ_2 用である。詳細は図 2 において説明した通りである。

例えば、上記（図 2）の例では、変換関数 A 1 8 - 2 : $f_A(\sigma_1, T) = q(T) \cdot k \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{0.5} \cdot \sigma_1 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{-0.5}$ 、変換関数 B 1 8 - 3 : $f_B(\sigma_2, T) = q(T) \cdot k \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{0.5} \cdot \sigma_2 \cdot (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{-0.5}$ である。

なお、変換関数 A 1 8 - 2 及び変換関数 B 1 8 - 3 は、変換関数生成部 1 0 により生成され、関数テーブル 1 8 に格納されるが、予め用意されていても良い。その場合、後述の計算過程が一部省略できる。

【 0 0 3 8 】

次に、本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態の動作（疲労安全率検査方法）について説明する。

図 6 は、本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態の動作（疲労安全率検査方法）を示すフロー図である。

【 0 0 3 9 】

（ 1 ）ステップ S 0 1

設計者は、CAE 解析に関連する材料を選択する。変換関数生成部 1 0 は、その材料について、応力データベース 1 7（材料 1 7 - 1、温度 1 7 - 2、平均応力 1 7 - 3 及び振幅応力 1 7 - 4（疲労限度線図））に基づいて、正規化疲労限度線図を生成するための変換関数 A 及び変換関数 B を生成し、関数テーブル 1 8 へ格納する。すなわち、図 2 の左側のグラフから図 2 右側のグラフを生成するための変換関数 $f_A(\sigma, T)$ 及び $f_B(\sigma, T)$ を生成し、それぞれ変換関数 A 及び変換関数 B として、関数テーブル 1 8 へ格納する。

【 0 0 4 0 】

（ 2 ）ステップ S 0 2

設計者は、モデル生成部 1 1 を用いて、構造解析の対象としてのエンジンの 3 D モデルの設計を行う。

【0041】

(3) ステップS03

設計者は、条件設定部12を用いて、構造解析の対象としてのエンジンに関する諸条件の設定を行う。諸条件は、エンジンの運転条件及びエンジンの諸元（回転数、馬力、シリンダ内圧力など）に例示される。

【0042】

(4) ステップS04

FEM計算部13は、上記の3Dモデルを変換し、FEMモデルを生成する。そして、上記諸条件の下で、FEMモデルに基づいて、FEM解析のためのFEM計算を実行する。FEM計算部13は、2種類の解析を行う。

一つ目は、テトラメッシュ化された構造体（FEMモデル）の各部の温度について、演算を実行して算出する。

二つ目は、そのテトラメッシュ化された構造体の各部の応力（平均応力、振幅応力）について、演算を実行して算出する。

【0043】

(5) ステップS05

正規化応力計算部14は、ステップS04で算出された部品に生じる応力を、部品の温度毎に、関数テーブル18の変換関数 f （部品の材料と等しい材料18-1に対応する変換関数A18-2及び変換関数B18-3）を用いて、部品に使用された材料に関する温度毎の疲労限度線図で正規化し、正規化応力として出力する。

【0044】

(6) ステップS06

疲労安全率計算部15は、正規化疲労限度線図とステップS05で算出された正規化応力とに基づいて、図3で説明された方法により、部品の疲労安全率を算出する。そして、疲労安全率計算部15は、表示部5に、算出された疲労安全率の値に対応した色で、各テトラメッシュを表示させる。

【0045】

正規化疲労限度線図を用いているので、疲労安全率を容易に算出することが可

能となる。また、疲労安全率に対応した表示色で表示されるので、疲労安全率に関して、機器の全体の状況を把握し易い。そして、視覚的・客観的に疲労安全率を把握することが可能となる。

【0046】

ここで、ステップS05及びステップS06における、各テトラメッシュに関するデータについて更に説明する。

図7は、ステップS04からステップS06における各テトラメッシュのデータの変換を説明する図である。シート21～シート23は、それぞれステップS04からステップS06でのデータを記載したシートを示す。各シートにおいて、Nodeは、FEMモデルにおける複数のテトラメッシュの各々を識別する番号である。 σ 、T、 σU 及びSafは、それぞれ各テトラメッシュでの応力、温度、正規化応力及び安全率である（ただし、応力及び正規化応力は、本図では振幅応力のみを記載）。

ステップS04により、FEM解析がなされ、シート21のような各テトラメッシュ毎の σ とTの関係が得られる。次に、そこでステップS05において、各データについて変換関数fを用いて正規化応力の計算（ $\sigma U = f(\sigma, T)$ ）がなされ、シート22のような各テトラメッシュ毎の σU が得られる。そして、ステップS06において、疲労安全率の計算（ $Saf. = A/B$ ）がなされ、シート23のような各テトラメッシュ毎の疲労安全率Saf. が得られる。

【0047】

応力データテーブル17として、各材料毎、各温度毎に疲労限度線図（又は正規化疲労限度線図）を有しても良いが、材料の種類や温度分布が大きくなればなるほど、大規模なデータとなる。そのため、システムインフラが膨大となり、アクセス時間も増大してしまう。

しかし、本発明では、各温度毎にデータを持つのではなく、変換関数fを使用して、正規化疲労限度関数を算出する。従って、大規模なデータを持つ必要が無く、システムの増加を抑制できる。

【0048】

また、本発明では、正規化疲労限度線図の曲線 Q_0 は、疲労限度値が1となる

ようにしているので、曲線 Q_0 との比較により、数値的に疲労安全率を容易に把握することが出来る。

【0049】

本発明では、材料及び温度に依存する疲労限度線図を正規化することにより、材料や温度に依らない疲労限度線図を算出するので、それ以降の応力に関するデータの取り扱いを容易に行うことができる。

【0050】

本発明により、CAE計算を用いた機器の疲労安全率の評価が、設計構想段階で可能となる。それにより、機器の初期設計での品質が向上するので、耐久性試験での異常が大幅に減少し、設計及び開発かかるコストを低減することが可能となる。

【0051】

【発明の効果】

本発明により、自動処理により各部位の疲労安全率を高速かつ正確に算出することができ、設計及び開発の効率を向上することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態における構成を示す図である。

【図2】疲労限度線図及びそれを正規化した正規化疲労限度線図の一例を示すグラフである。

【図3】正規化疲労限度線図を用いた疲労安全率の算出方法を示す図である。

【図4】応力データテーブルを示す図である。

【図5】関数テーブルを示す図である。

【図6】本発明である疲労安全率検査装置の実施の形態の動作（疲労安全率検査方法）を示すフロー図である。

【図7】各テトラメッシュのデータの変換を説明する図である。

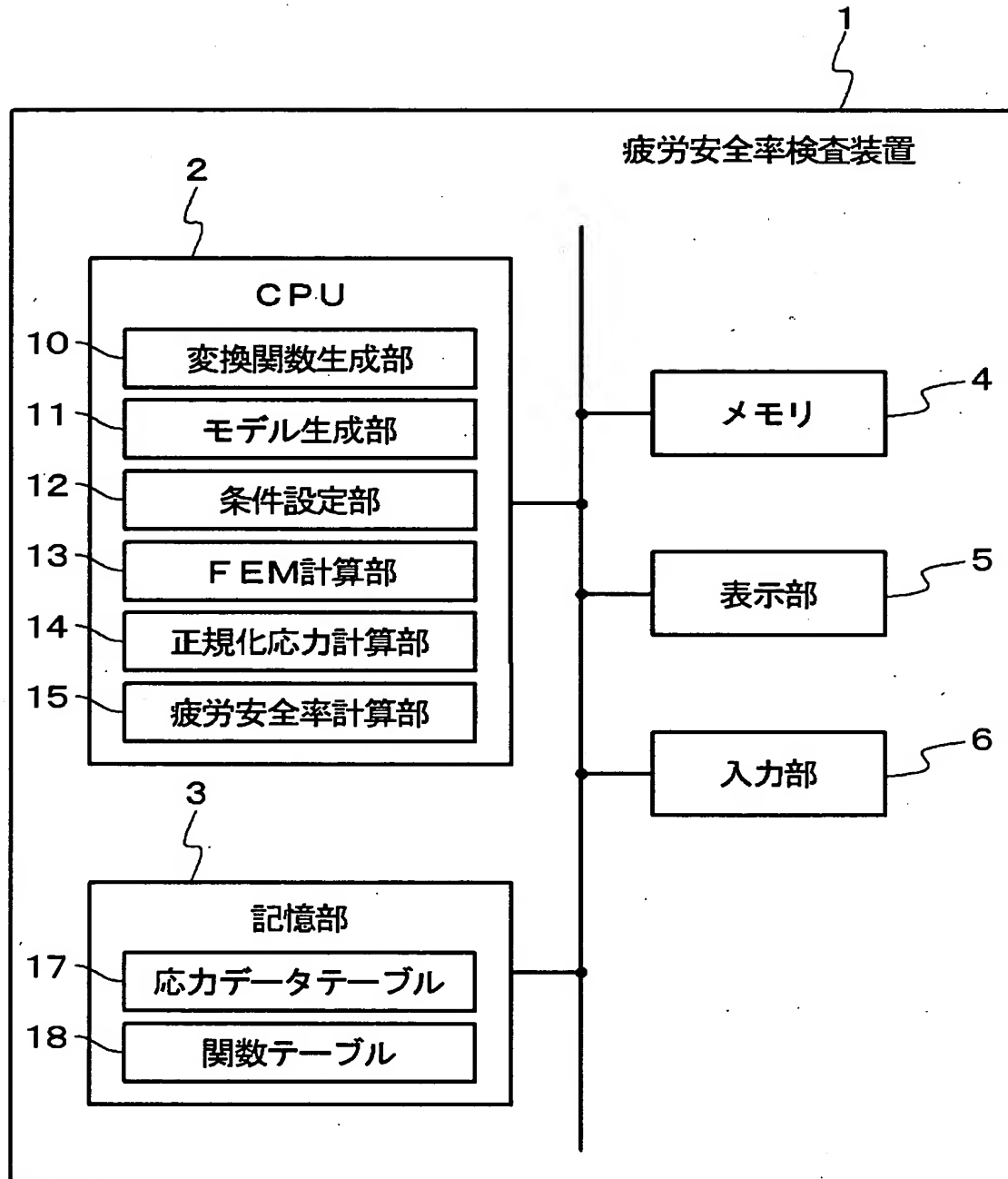
【符号の説明】

2 CPU

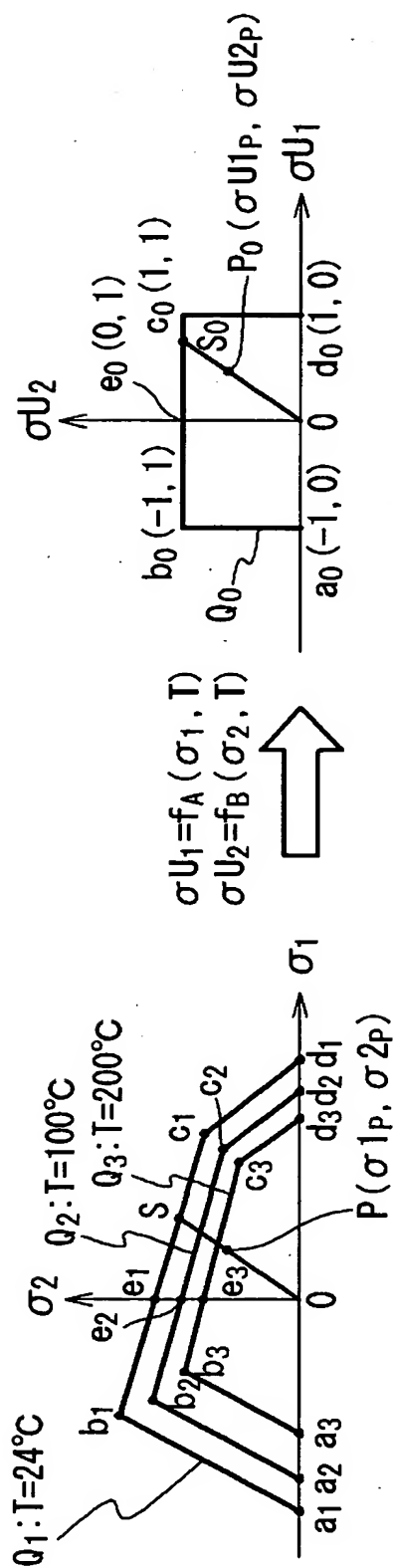
- 3 記憶部
- 4 メモリ
- 5 表示部
- 6 入力部
- 10 変換関数生成部
- 11 モデル生成部
- 12 条件設定部
- 13 FEM計算部
- 14 正規化応力計算部
- 15 疲労安全率計算部
- 17 応力データテーブル
 - 17-1 材料
 - 17-2 温度
 - 17-3 平均応力
 - 17-4 振幅応力
- 18 関数テーブル
 - 18-1 材料
 - 18-2 変換関数A
 - 18-3 変換関数B
- 21 シート
- 22 シート
- 23 シート

【書類名】 図面

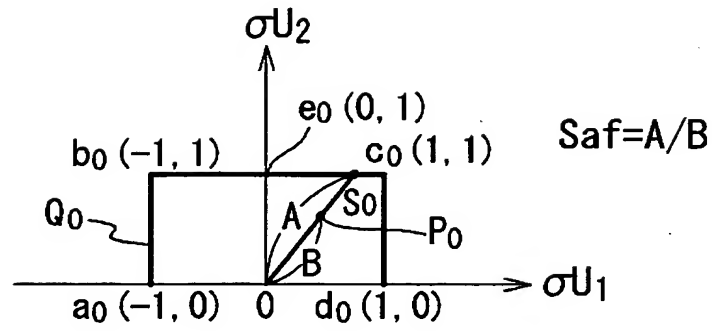
【図1】



【図 2】



【図 3】

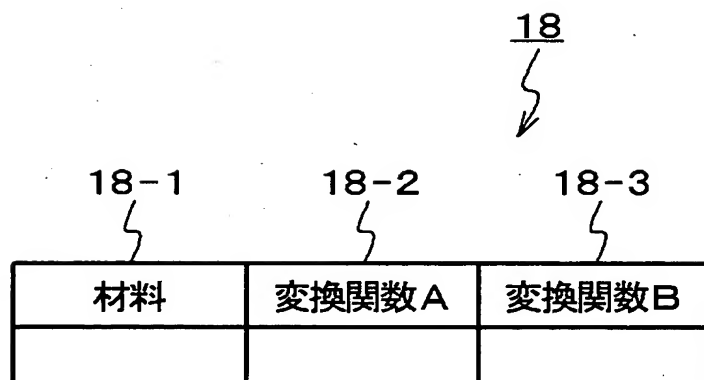


【図 4】

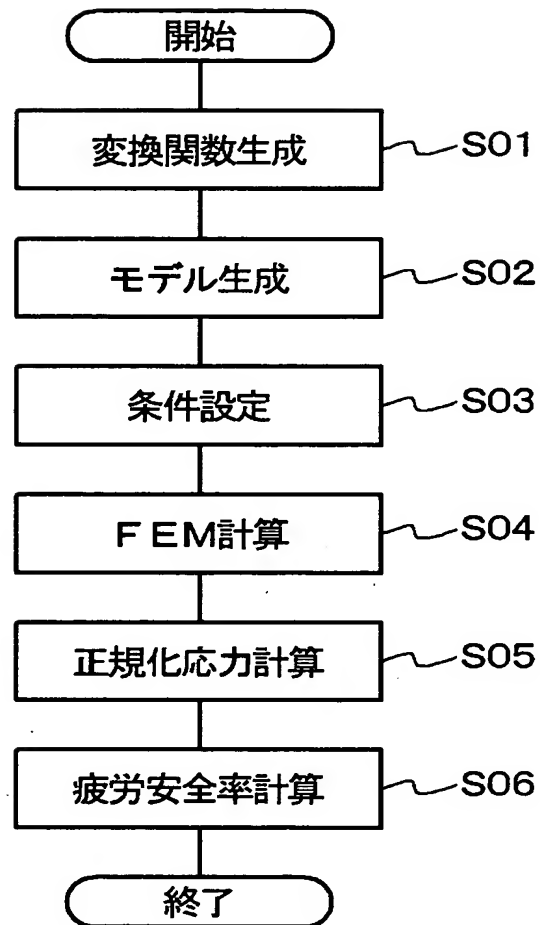
$\frac{17}{\downarrow}$

17-1 \downarrow	17-2 \downarrow	17-3 \downarrow	17-4 \downarrow
材料	温度	平均応力	振幅応力

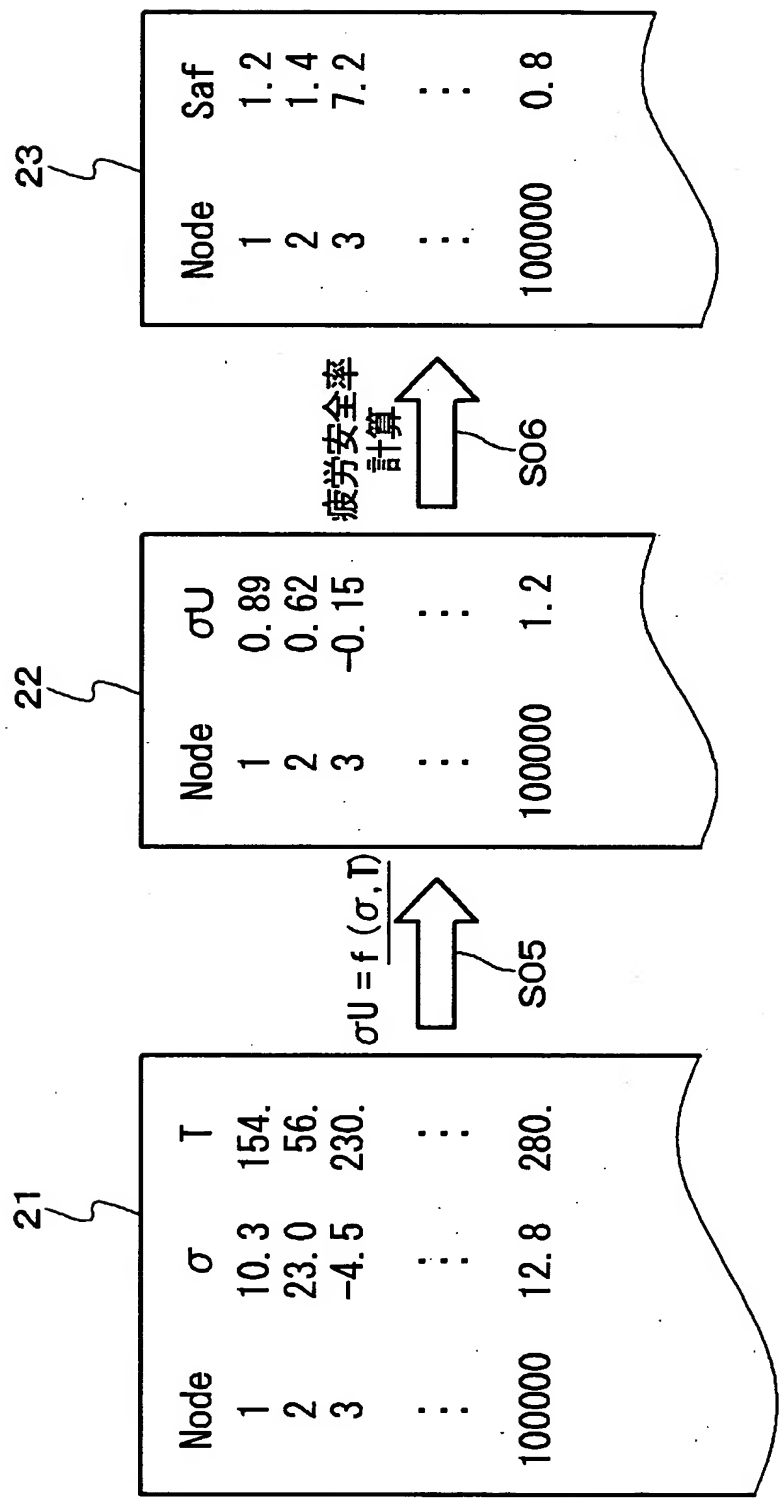
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

自動処理により各部位の疲労安全率を高速かつ正確に算出することができ、設計及び開発の効率を向上することが可能な疲労安全率検査装置及び疲労安全率検査方法を提供する。

【解決手段】

正規化応力計算部 1 4、疲労安全率計算部 1 5 及び関数テーブル 1 8 を具備する疲労安全率検査装置を用いる。関数テーブル 1 8 は、温度毎の疲労限度を正規化して正規化疲労限度に変換する変換関数を格納する。正規化応力計算部 1 4 は、部品に生じる応力を、部品の温度毎に、材料に関する温度毎の疲労限度で変換関数を用いて正規化し、正規化応力として出力する。疲労安全率計算部 1 5 は、温度毎の疲労限度を正規化した正規化疲労限度と正規化応力とに基づいて、部品の疲労安全率を算出する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005326]

1. 変更年月日	1990年 9月 6日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目1番1号
氏 名	本田技研工業株式会社